

# Точность расчетных уравнений, прогнозирующих энергетическую потребность покоя при разлитом вторичном перитоните

О. Г. Сивков

Медико-санитарная часть «Нефтяник»,  
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Юрия Семовских, д. 8, стр. 1  
Тюменский государственный медицинский университет Минздрава России,  
Россия, 625023, г. Тюмень, ул. Одесская, д. 54.

## Accuracy of Computed Equations for Predicting the Resting Energy Requirements in Patients with Generalized Secondary Peritonitis

Oleg G. Sivkov

Medical and Sanitary Unit «Neftyanik»,  
8 Yuri Semovskikh Str., Bldg. 1, 625000 Tyumen, Russia  
Tyumen State Medical University, Ministry of Health of Russia,  
54 Odessa Str., 625023 Tyumen, Russia

**Для цитирования:** О. Г. Сивков. Точность расчетных уравнений, прогнозирующих энергетическую потребность покоя при разлитом вторичном перитоните. *Общая реаниматология*. 2020; 16 (4): 32–39. DOI: 10.15360/1813-9779-2020-4-32-39 [На русск. и англ.]

**For citation:** Oleg G. Sivkov. Accuracy of Computed Equations for Predicting the Resting Energy Requirements in Patients with Generalized Secondary Peritonitis. *Obshchaya Reanimatologiya = General Reanimatology*. 2020; 16 (4): 32–39. DOI: 10.15360/1813-9779-2020-4-32-39 [In Russ. and Engl.]

### Резюме

Ключевым компонентом правильного лечения пациентов с разлитым вторичным перитонитом (РВП) является нутритивная поддержка. Поиск простого и доступного метода оценки суточной потребности в энергии у этих больных является актуальной проблемой.

**Цель исследования:** оценить точность определения энергетической потребности покоя (REE) расчетными уравнениями у пациентов с РВП.

**Материалы и методы.** Характеристика исследования — проспективное, одноцентровое. Критерии включения — РВП в отделении интенсивной терапии. Сформировали 3 группы. В 1-ю вошли все пациенты ( $n=61$ ), во 2-ю — больные только на самостоятельном дыхании ( $n=29$ ), в 3-ю — пациенты на искусственной вентиляции легких (ИВЛ) ( $n=32$ ). Эталонное определение энергетической потребности покоя (REE) проводили с помощью метода непрямой калориметрии (НК) аппаратом ИВЛ с модулем мониторинга метаболизма. Для прогноза REE использовали 6 расчетных уравнений: умножение идеальной массы тела на 25 ( $MT_{ид} \times 25$ ); умножение фактической массы тела на 25 ( $MT_{ф} \times 25$ ); J. A. Harris, F. Benedict (HB); HB с поправочным коэффициентом 1,25 ( $HB \times 1,25$ ); C. Ireton-Jones, 1992 (IJ); модификация Penn State, 2003 (PS). Статистическую обработку материала провели с помощью пакета программ SPSS. Нулевую гипотезу отвергали при  $p < 0,05$ .

**Результаты.** REE у больных с РВП, определенная с помощью НК, составила  $25,78 \pm 1,37$  ккал/кг/сут. Прогностическая точность расчетных уравнений при сравнении с НК у пациентов 2-й и 3-й групп, соответственно, была: для  $MT_{ид} \times 25$  — 30% и 0%; для HB — 36,7 и 9,9%; для  $HB \times 1,25$  — 49,9 и 45,5%; для IJ — 51,8 и 53,2%; для  $MT_{ф} \times 25$  — 63,4 и 60,6%, для PS — 42,4% только для пациентов на ИВЛ.

**Закключение.** НК остается единственным точным способом определения REE у больных с РВП. Самая высокая прогностическая точность была характерна для формул  $MT_{ф} \times 25$  и IJ. Самой низкой прогностической точностью обладали уравнения:  $MT_{ид} \times 25$  и HB.

**Ключевые слова:** перитонит; абдоминальный сепсис; основной обмен; энергетическая потребность покоя; разлитой вторичный перитонит

### Summary

Nutritional support is central to prompt treatment of patients with generalized secondary peritonitis (GSP). These patients desperately need a simple and affordable solution to evaluate their daily energy need.

Адрес для корреспонденции:

Олег Геннадьевич Сивков  
E-mail: [sivkovog@mail.ru](mailto:sivkovog@mail.ru)

Correspondence to:

Oleg G. Sivkov  
E-mail: [sivkovog@mail.ru](mailto:sivkovog@mail.ru)

**Objective:** to determine accuracy of estimating the Resting Energy Expenditure (REE) in GSP patients.

**Materials and methods.** Study design: a prospective, single center study. The inclusion criteria: diagnosed GSP and stay at the Intensive Care Unit (ICU). Three treatment arms were formed. The first arm included all patients ( $n=61$ ), the second arm included patients capable to breath spontaneously and adequately ( $n=29$ ), and the third arm included patients on artificial ventilation ( $n=32$ ). Reference values of REE were calculated by Indirect Calorimetry (IC) method using Engstrom Carestation Lung Ventilator and Metabolic (General Electric, USA). Six equations were used to predict REE values: Ideal Body Weight multiplied by 25 (IBW $\times$ 25); Actual Body Weight multiplied by 25 (ABW $\times$ 25); J. A. Harris, F. Benedict (HB); HB with corrective ratio 1.25 (HB $\times$ 1.25); C. Ireton-Jones, 1992 (IJ); Penn State, 2003 equation, in modification (PS). SPSS Software Package was used for statistical analysis of the results. The zero hypothesis was rejected at  $P<0.05$ .

**Results.** In patients with GSP, the REE value determined by means of Indirect Calorimetry method was equal to  $25.78\pm 1.37$  kcal/kg/day. If compared with Indirect Calorimetry results, predictive accuracy of calculation equations in the second and third arm, respectively, were as follows: IBW $\times$ 25: 30 and 0%, HB: 36.7 and 9.9%, HB $\times$ 1.25: 49.9 and 45.5%, IJ: 51.8 and 53.2%, ABW $\times$ 25: 63.4 and 60.6%, PS (as determined in patients on mechanical ventilation only): 42.4%.

**Conclusion.** Indirect Calorimetry method is the only accurate way of REE evaluation in GSP patients. ABW $\times$ 25 and IJ showed the highest predictive accuracy. IBW $\times$ 25 and HB had the lowest predictive accuracy.

**Keywords:** peritonitis; abdominal sepsis; resting metabolism; resting energy expenditure; generalized secondary peritonitis

DOI:10.15360/1813-9779-2020-4-32-39

## Введение

Практически любое критическое состояние сопровождается повышением основного обмена (ОО), повышая риск недоедания [1], а это в свою очередь, увеличивает частоту инфекционных осложнений, полиорганной недостаточности, сроки пребывания больных в стационаре и риск смерти [2]. Перекармливание также связано с различными осложнениями: гипергликемией, гипертриглицеридемией, стеатозом печени, азотемией, гиперкапнией и повышенной летальностью среди этих пациентов [3, 4].

Таким образом, избыток и недостаток питания у пациентов в критическом состоянии существенно влияет на результаты лечения [4].

В этом контексте точное определение энергетической потребности пациента, в соответствии с имеющимся у него на данный момент ОО, имеет первостепенное значение, так как поддержка питанием для достижения оптимального энергоснабжения является важным компонентом положительного клинического результата [5]. Эталонным способом определения энергетической потребности покоя (REE) является непрямая калориметрия (НК), но не во всех реанимационных отделениях имеется возможность ее выполнения.

Широкое разнообразие расчетных прогностических уравнений свидетельствует об отсутствии универсальной формулы определения REE у пациентов в критическом состоянии [6]. Вероятнее всего, это связано с гетерогенностью заболеваний, приводящих к его развитию.

Таким образом, поиск точных уравнений, прогнозирующих REE для конкретной нозологической формы, максимально приближенных к НК, является актуальной проблемой [7]. В

## Introduction

Almost any critical condition is accompanied by increasing resting metabolism (RM), raising the risk of undernutrition [1], which, in turn, enhances the incidence of infectious complications, multiple organ failure, in-patient period, and the risk of death [2]. Over-nutrition is also associated with various complications: hyperglycemia, hypertriglyceridemia, hepatic steatosis, azotemia, hypercapnia, and increased lethality [3, 4].

Therefore, both over- and undernutrition in critically ill patients largely affect the outcome [4].

In this context, precise determination of patient's energy requirement according to the patient's RM at that time is essential because nutritional support aimed at achieving the optimal energy supply is an important component of the positive clinical result [5]. The reference method of determining the resting energy expenditure (REE) is indirect calorimetry (IC), but far from every ICU can do it.

The high diversity of calculated predicting equations evidences an absence of a universal formula for determining REE in critically ill patients [6], which most probably relates to heterogeneity of diseases leading to the critical condition.

Therefore, finding precise equations predicting REE for a particular nosology, which would be as close to IC as possible, is a relevant issue [7]. The contemporary literature lacks data evaluating the efficacy of most frequently used predictive equations determining RM in patients with abdominal sepsis caused by generalized secondary peritonitis (GSP).

Purpose of the study: to determine accuracy of predictive equations used for estimating Resting Energy Expenditure (REE) in GSP patients.

современной доступной литературе нет данных, оценивающих эффективность наиболее часто используемых расчетных уравнений, определяющих ОО у больных с абдоминальным сепсисом, причиной которого стал разлитой вторичный перитонит (РВП).

Цель исследования — оценить точность определения энергетической потребности покоя (REE) расчетными уравнениями у пациентов с РВП.

## Материал и методы

Характер исследования — проспективное однокцентровое. Критерии включения — РВП в отделении интенсивной терапии. Критерий исключения — возраст >80 лет, сахарный диабет, любые сопутствующие хронические заболевания в терминальной стадии. Всего в исследование включили 61 пациента — 24 женщины и 37 мужчин в возрасте от 28 до 76 лет. Причинами РВП были: острая кишечная непроходимость ( $n=15$ ), панкреонекроз в стадии гнойных осложнений ( $n=8$ ), острый гангренозный аппендицит ( $n=16$ ), гангрена кишечника в результате сегментарного тромбоза ( $n=16$ ), перфорация кишечника ( $n=4$ ), прободная язва желудка ( $n=1$ ) и острый гангренозный холецистит ( $n=1$ ).

Поскольку физиологическая циркадная вариабельность REE у пациентов в критическом состоянии отсутствует, ее достоверную оценку можно проводить в течение 20–30 минут с помощью НК в любое время суток [8]. Эталонное определение REE проводили методом НК с помощью модуля мониторинга метаболизма фирмы «General Electric» аппарата искусственной вентиляции легких (ИВЛ) Engstrom Carestation, страна производитель USA. У пациентов не на ИВЛ измерение НК проводили с использованием лицевой маски, в режиме самостоятельного дыхания с утечкой не более 10%, дважды в день, продолжительностью 30–50 мин. Для прогнозирования REE использовали расчетные уравнения, представленные в табл. 1.

Тяжесть состояния оценивали в баллах по шкалам SOFA (Sequential Organ Failure assessment) и APACHE II (Acute Physiology and Chronic Health Evalu-

## Materials and Methods

The study design is a prospective single-center study. The inclusion criteria were: diagnosed GSP and stay at the Intensive Therapy Unit. The exclusion criteria were: age >80 years, diabetes mellitus, a terminal stage of any concomitant chronic disease. In total, 61 patients were included in the study: 24 women and 37 men of 28 to 76 years of age. The causes of GSP were: acute intestinal obstruction ( $n=15$ ), necrotizing pancreatitis at a stage of suppurative complications ( $n=8$ ), acute gangrenous appendicitis ( $n=16$ ), bowel gangrene due to segmental thrombosis ( $n=16$ ), intervening bowel ( $n=4$ ), perforated gastric ulcer ( $n=1$ ), and acute gangrenous cholecystitis ( $n=1$ ).

Since there are no physiological circadian variations of REE in critically ill patients, a reliable estimation of REE can be done within 20–30 minutes by IC at any time of the day [8]. The reference determination of REE was carried out using the IC technique with the help of General Electric metabolism monitoring module of the mechanical lung ventilator (MLV) from Engstrom Carestation (USA). In spontaneously breathing patients, the IC measurement was performed using a face mask in the spontaneous breathing mode with a leakage not exceeding 10%, twice a day, every time for 30–50 min. To predict REE, the calculation equations shown in table 1 were used.

Severity was assessed based on SOFA (Sequential Organ Failure assessment) and APACHE II (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation) scores. Three arms were formed. The 1st included all patients ( $n=61$ ), the 2<sup>nd</sup> — spontaneously breathing patients only ( $n=29$ ), and the 3<sup>rd</sup> — the patients on MLV ( $n=32$ ).

Characteristics of the arms are given in table 2 and, as one can see from the table, they are comparable in every indicator with the exception of mean APACHE II score. The statistically significantly higher score in the 3rd arm is related to respiratory failure requiring MLV in those patients.

The statistical processing of raw data was carried out with the aid of SPSS software. Normality of distribution of variables was determined by Shapiro–Wilk test. The results were presented as the mean ( $M$ ) with 95% confidence interval (95% CI), or the median and quartiles:  $Me$ , (Q25; Q75) depending on distribution of variables. The zero hypothesis was rejected at  $P<0.05$ .

**Таблица 1. Уравнения для прогнозирования REE у пациентов с разлитым вторичным перитонитом.**  
**Table 1. Equations for REE prediction in generalized secondary peritonitis patients.**

Source	REE Calculation Formula, kcal/day
J. A. Harris, F. Benedict (HB) [9]	Men: $13.75 \times BW_{ac} + 5 \times H - 6.8 \times A + 66$ Women: $9.6 \times BW_{ac} + 1.8 \times H - 4.7 \times A + 655$
J. A. Harris, F. Benedict with the correction factor ( $HB \times 1.25$ ) [8]	$HB \times 1.25^*$
Actual body weight $\times 25$ ( $BW_{ac} \times 25$ ) [10]	$BW_{ac} \times 25$
Ideal body weight $\times 25$ ( $BW_{id} \times 25$ )	$BW_{id} \times 25$
C. Ireton-Jones, 1992 (IJ) [11]	$5 \times BW_{ac} - 10 \times A + 281_m + 292_{inj} + 851_b$
Modified Penn State equation, 2003 (PS), for patients on MLV only [12]	$0.85 \times HB + 175 \times T_{max} + 33 \times MPV - 6433$

**Note.** BW — body weight (kg); ac — actual; id — ideal; H — height (cm); A — age (years); m — for men; inj — injury; b — burn;  $T_{max}$  — maximal body temperature during 24 hrs.; MLV — mechanical lung ventilation; MPV — minute pulmonary ventilation (L/min). \* — increase of REE in a critical condition from 1.1 to 1.3 [8], we have chosen factor 1.25.

**Примечание.** Source — источник; REE Calculation Formula, kcal/day — формула расчета REE, ккал/сут; men — мужчины; women — женщины; with the correction factor — с поправочным коэффициентом; body weight (BW) — масса тела, кг; actual (ac) — фактическая; ideal (id) — идеальная; modified ... equation, for patients on MLV only — модификация уравнения только для пациентов на ИВЛ; H — рост (см); A — возраст (лет); m — для мужчин; inj — при травме; b — при ожоге;  $T_{max}$  — максимальная температура тела за сутки; MPV — минутная вентиляция легких (л/мин). \* — повышение REE в критическом состоянии от 1,1 до 1,3 [8], нами выбран коэффициент 1,25.



**Таблица 2. Характеристика групп пациентов с разлитым вторичным перитонитом.**  
**Table 2. Group-wise characterization of generalized secondary peritonitis patients.**

Indicators		Value in the groups			P
		1, n=61	2, n=28	3, n=32	
APACHE II	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	7 (5; 13)	6 (4; 6)	12 (7; 14)	0.01*
	Shapiro–Wilk, <i>p</i>	0.002	0.001	0.016	—
SOFA	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	2 (1; 3)	2 (1; 4)	2 (1; 3)	0.287*
	Shapiro–Wilk, <i>p</i>	0.001	0.001	0.001	—
Age, years	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	52 (37; 63)	43 (37; 52)	52 (46; 63)	0.83*
	Shapiro–Wilk, <i>p</i>	0.045	0.005	0.043	—
Leukocytosis, ×10 <sup>9</sup> /L	M, [CI]	10.14 [8.27–12.00]	10.93 [9.14–12.71]	9.45 [7.61–11.28]	0.312**
	Shapiro–Wilk, <i>p</i>	0.06	0.075	0.066	—
CRP, mg/L	M, [CI]	174 [156–192]	159 [140–178]	185 [170–201]	0.064**
	Shapiro–Wilk, <i>p</i>	0.253	0.149	0.103	—

**Note.** \* — Friedman test; \*\* — ANOVA — cross-arm comparison between arms 1, 2, and 3.

**Примечание.** Для табл. 2, 3: value in the groups — значения в группах; age, years — возраст, лет; CRP — СРБ. \* — критерий Фридмана; \*\* ANOVA — сравнение между собой 1, 2, 3 групп.

ation). Сформировали три группы. В 1-ю вошли все пациенты (*n*=61), во 2-ю — только больные на самостоятельном дыхании (*n*=29), в 3-ю — пациенты, которым проводили ИВЛ (*n*=32).

Характеристику сформированных групп привели в табл. 2, из которой видно, что они сопоставимы между собой по всем параметрам, кроме среднего балла по APACHE II. Статистически значимо более высокий балл в 3-й группе связан с тем, что у этих больных была дыхательная недостаточность, требующая проведения ИВЛ.

Статистическую обработку данных провели с использованием пакета программ SPSS. Проверку нормальности распределения провели с применением критерия Шапиро–Уилка. Результат представили в виде среднего значения с 95% доверительным интервалом *M*, [CI] или медианы с квартилями *Me*, (Q<sub>25</sub>; Q<sub>75</sub>). Нулевую гипотезу отвергли при *p*<0,05.

## Результаты и обсуждение

Средние значения REE, определенные с помощью НК, статистически значимо не отличались между собой в сформированных нами группах (таб. 3). При пересчете на МТ<sub>ф</sub> были получены следующие результаты: 25,78±1,37 ккал/кг/сут — в 1-й группе; 25,23±1,45 ккал/кг/сут — во 2-й и 26,98±1,16 ккал/кг/сут — в 3-й, которые также статистически значимо не отличались между собой (*p*=0,362). Согласно предыдущим исследованиям, суточная потребность в энергии, в пересчете на килограмм МТ, у пациентов в критическом состоянии была примерно аналогичной [13]. Вне зависимости от способа определения REE, в группе больных на ИВЛ она была больше, чем у пациентов на самостоятельном дыхании, хотя эти отличия были статистически не значимыми (табл. 3).

Известно, что системно-воспалительная реакция является ключевым фактором в пусковом механизме формирования некардиогенного отека легких, развитие которого приводит к нарушению функции внешнего дыхания, гипоксии и требует проведение ИВЛ, этот же

## Results and Discussion

There was no statistically significant difference in REE determined by IC in the arms formed (table 3). The following findings were obtained on conversion to BW<sub>ac</sub>: 25.78±1.37 kcal/kg/day — in the 1st arm; 25.23±1.45 kcal/kg/day — in the 2<sup>nd</sup> arm, and 26.98±1.16 kcal/kg/day — in the 3<sup>rd</sup> arm. No statistically significant differences between groups were found (*P*=0.362). According to earlier studies, the daily energy expenditure converted to BW kg in critically ill patients was approximately the same [13]. Regardless on the method of determining REE, it was higher in patients on MLV vs. spontaneously breathing patients, though that difference was not statistically significant (table 3).

It is known that the systemic inflammatory response is the key factor in the mechanism triggering non-cardiogenic pulmonary edema resulting in external respiration dysfunction and hypoxia and requiring MLV; a pathological process of the same type modifies REE. It can be assumed that high REE values in the patients on MLV are associated with a significant inflammation. This is supported by a trend to higher CRP concentration in the patients on MLV compared to spontaneously breathing patients: 185±15 mg/L vs. 159±19 mg/L, though the difference was not statistically significant either (table 2). Therefore, in GSP patients, daily REE does not depend on their breathing — spontaneous or MLV.

To identify the formulas, the results of which are maximally close to the 'reference' method of determining REE, we compared mean figures obtained by IC against the results of predictive equations (table 4). It turned out that in the 1<sup>st</sup> arm, B×1.25 with the correction factor and BW<sub>ac</sub> 25 were the closest to the 'reference' method. The result obtained by those formulas in the 1<sup>st</sup> arm was not statistically different from the reference IC method. Further analysis showed that the regularity discovered was due to the 2<sup>nd</sup> arm only, i. e. due to spontaneously breathing patients. In the patients on MLV, there was no statistically significant differ-

**Таблица 3. REE у больных с разлитым вторичным перитонитом, определенная непрямой калориметрией и расчетными уравнениями.****Table 3. REE determined by indirect calorimetry and calculation equations in patients with generalized secondary peritonitis.**

REE Determination Method		Value in the groups			P
		1, n=61	2, n=28	3, n=32	
IC	M, [CI]	2017 [1808–2226]	1912 [1688–2135]	2124 [1959–2288]	0.344**
	Shapiro–Wilk, p	0.163	0.145	0.062	—
HB	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	1578 (1382; 1785)	1552 (1279; 1852)	1578 (1434; 1664)	0.476*
	Shapiro–Wilk, p	0.016	0.001	0.043	—
HB×1.25	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	1972 (1727; 2231)	1940 (1625; 2315)	1972 (1792; 2080)	0.476*
	Shapiro–Wilk, p	0.016	0.001	0.043	—
BW <sub>ac</sub> ×25	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	1950 (1750; 2100)	1875 (1625; 2200)	2000 (1875; 2075)	0.260*
	Shapiro–Wilk, p	0.047	0.005	0.041	—
BW <sub>id</sub> ×25	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	1601 (1425; 1764)	1560 (1312; 1560)	1601 (1470; 1651)	0.389*
	Shapiro–Wilk, p	0.001	0.001	0.011	—
IJ	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	2429 (1883; 2544)	2429 (1883; 2544)	2349 (1882; 2499)	0.733*
	Shapiro–Wilk, p	0.008	0.001	0.041	—
PS	Me (Q <sub>25</sub> ; Q <sub>75</sub> )	—	—	1909 (1710; 2070)	—
	Shapiro–Wilk, p	—	—	0.005	—

**Note.** \* — Friedman test; \*\* — ANOVA — cross-arm comparison between arms 1, 2, and 3.**Примечание.** Для табл. 3, 5: REE Determination Method — способ определения REE. \* — критерий Фридмана; \*\* — ANOVA — сравнение между собой 1, 2, 3 групп.**Таблица 4. Сравнение методов определения REE расчетными уравнениями и непрямой калориметрией (Т-критерий Вилкоксона).****Table 4. Comparison of REE determination by calculation equations versus indirect calorimetry (Wilcoxon rank sum test).**

Groups	IC vs					
	HB	HB×1.25	BW <sub>ac</sub> ×25	BW <sub>id</sub> ×25	IJ	PS
1	<0.001	0.057*	0.068*	<0.001	0.01	—
2	<0.001	0.991*	0.567*	0.001	0.07	—
3	<0.001	0.008	0.020	<0.001	0.254*	0.01

**Note.** \* — there is no statistically significant difference from IC.**Примечание.** \* — нет статистически значимой разницы с методом НК.

типовой патологический процесс модифицирует REE. Можно предположить, что высокие значения REE у пациентов на ИВЛ связаны с выраженным воспалением. Подтверждением этого служит более высокая концентрация СРБ у больных на ИВЛ —  $185 \pm 15$  мг/л, чем у пациентов на самостоятельном дыхании —  $159 \pm 19$  мг/л, хотя эти отличия так же не носили статистически значимой разницы (табл. 2). Таким образом, у больных с РВП суточная REE не зависит от того как они дышат, самостоятельно или им проводится ИВЛ.

Для выявления формул, результаты которых максимально приближены к «эталонному» способу определения REE, мы сравнили средние значения НК с результатами, полученными с помощью прогностических уравнений (табл. 4). Оказалось, что у пациентов 1-й группы, самыми близким к «эталону», были уравнения  $HB \times 1.25$  с поправочным коэффициентом и  $MT_{\phi} \times 25$ . Результат, полученный при использовании этих формул, в 1-й группе статистически значимо не отличался от «эталонного» метода НК. Дальнейший анализ показал, что выявленная закономерность получена только за счет 2-й группы, то есть больных на

ences between the IC readings and calculated value if the latter were calculated using the C. Ireton-Jones equation (1992) (table 4).

It is known that the patient's energy expenditure can vary within 24 hrs. depending on patient's activity: wakefulness, sleep, agitation, wound healing, pain management technique, sedation, ventilation modes, and concomitant pathologies. The efficacy of predictive equations was evaluated based on the percent of exact calculations falling within the 95% confidence interval of the reference IC method of determining REE (table 5).

None of the tested equations have shown an 'ideal' result. The HB equation that was developed based on healthy volunteers and originally published almost 100 years ago is criticized nearly by all researchers as ill-defined for critically ill patients. Costa et al. [14] compared REE predicted with the help of HB versus IC in 85 critically ill patients and the accuracy of the equation was not higher than 32%. In our study it was equal to 36.7% (table 5) and only in the arm of spontaneously breathing patients. The underestimation of energy expenditure when that formula was applied for patients on MLV amounted to 546 kcal/day on average, or 25.7% of the proper figure measured by IC.

**Таблица 5. Точность вычисления REE расчетными уравнениями в сравнении с непрямой калориметрией.**  
**Table 5. Accuracy of REE calculation by equations compared to indirect calorimetry.**

REE Determination Method	% of calculations matching [CI] <sub>IC</sub> results, by groups		
	1, n=61	2, n=28	3, n=32
HB	4.9 (95.1; 0)	36.7 (63.3; 0)	9.9 (90.1; 0)
HB×1.25	40.4 (33.8; 25.8)	49.9 (33.3; 16.6)	45.5 (36.3; 18.2)
BW <sub>ac</sub> ×25	50.0 (32.2; 17.7)	63.4 (26.6; 10.0)	60.6 (36.4; 3.0)
BW <sub>id</sub> ×25	0 (100; 0)	30 (70; 0)	0 (100; 0)
IJ	51.4 (27.2; 21.4)	51.8 (24.1; 24.1)	53.2 (25; 21.8)
PS	—	—	42.4 (48.5; 9.1)

**Note.** % of calculations matching [CI]<sub>IC</sub> results is the percent of exact calculations falling within the 95% confidence interval of the reference IC method of determining REE.

**Примечание.** % of calculations matching [CI]<sub>IC</sub> results, by groups — % вычислений, совпадающих с [CI]<sub>НК</sub> — процент точных вычислений, вошедших в 95% доверительный интервал «эталонного» определения REE методом НК.

самостоятельном дыхании. У пациентов на ИВЛ вычисленные значения статистически значимо не отличались от результатов, полученных с помощью НК, если были рассчитаны уравнением С. Ireton-Jones (1992), (табл. 4).

Известно, что энергетическая потребность больного может изменяться в течение суток и зависит от его активности: бодрствования, сна, ажитации, степени заживления ран, методов обезболивания, седации, режимов вентиляции, а также сопутствующей патологии. Эффективность прогностических расчетных уравнений оценивали по проценту точных вычислений, вошедших в 95% доверительный интервал «эталонного» определения REE методом НК (табл. 5).

Ни одно из тестируемых уравнений не показало «идеальный» результат. Разработанное на здоровых добровольцах и впервые опубликованное почти 100 лет назад уравнение HB критикуется практически всеми исследователями, как некорректное для больных в критическом состоянии. Costa et al. [14] сравнили REE, предсказанную уравнением HB с НК у 85 больных в критическом состоянии, точность его не превышала 32%. В нашем исследовании она была 36,7% (табл. 5) и то, только в группе больных на самостоятельном дыхании. Недооценка потребности в энергии при использовании этой формулы у пациентов на ИВЛ составила в среднем 546 ккал/сут, или 25,7% от должной, измеренной НК. Примерно такие же результаты были получены в исследовании de Goes C. R. et al [15], в котором недооценка REE у больных на ИВЛ при использовании уравнения HB составила 27%. Выявленная нами низкая прогностическая точность уравнения HB у пациентов с РВП значительно ограничивает его использование в повседневной клинической практике.

У большинства пациентов с сепсисом, травмой или после крупных операций ОО увеличивается в течение первых дней болезни, достигая пика обычно между 4 и 10 днями заболевания, а затем постепенно снижается в течение недель или даже месяцев. Пиковое

Similar results were obtained in the study by de Goes C. R. et al [15], where the underestimation of REE determined by HB in patients on MLV amounted to 27%. The discovered herein poor prognostic accuracy of HB in GSP patients largely limits its application in everyday clinical practice.

In most patients with sepsis, trauma, or after major surgery, RM is growing during the first few days of a disease usually reaching a peak on day 4 and 10 of the disease and gradually decreasing afterwards for weeks and even months. The peak value, peak time, and total duration of metabolic alterations depend on disease severity and peculiarities of its course. During this period, REE increases approximately by 20–80% over the norm [13]. Given that in immobilized critically ill patients REE rises 1.1–1.2-fold and in case of exhaustion the increase might be 1.3-fold, we chose 1.25 as the correction factor for the HB formula [8]. The accuracy of HB with the correction factor significantly improved and became just over 40% in all arms. REE was underestimated in a third of patients (table 5), but the shortage was minor and in arm 2 it was equal to 42 kcal/day only. The result obtained does not contradict the fact that there was no statistically significant difference in that arm between the values received by IC and the said calculation equation ( $P=0.991$ ) (table 4).

The simplest equation predicting REE was multiplying the actual weight of a patient by 25. In our study, the mean daily energy expenditure of a GSP patient amounted to 25.78 kcal/kg/day. According to the modern science, to make up energy expenditure in full, a patient receiving intensive care requires 25 kcal/kg/day [10, 13]. The percent of exact measurements in application of this formula to the patients of arms 2 and 3 was just over 60% (table 5). In a third of patients, the underestimation was minor: in arm 2 — 37 kcal/day and in arm 3 — 124 kcal/day on average. Taking into account that in our study the body weight index varied between 19 kg/m<sup>2</sup> and 32.3 kg/m<sup>2</sup>, we decided to determine whether the REE can be assessed if we multiply BW<sub>id</sub> by 25 rather than BW<sub>ac</sub> mentioned in the current guidelines [10]. Analysis has shown that the results were exact only in one third of the pa-



значение, время достижения пика и общая продолжительность метаболических изменений зависят от тяжести и особенности течения заболевания. В этот период REE повышается примерно на 20–80% от нормы [13]. Учитывая, что у неподвижных пациентов в критическом состоянии происходит увеличение REE в 1,1–1,2 раза, а при истощении оно может достигать 1,3, в качестве поправочного коэффициента к формуле НВ выбрали значение 1,25 [8]. Точность уравнения НВ с поправочным коэффициентом значительно возросла и стала чуть больше 40% во всех группах. У трети пациентов REE была недооценена (табл. 5), но дефицит был небольшим, во 2-й группе — всего 42 ккал/сут. Полученный результат не противоречит тому, что в этой группе отсутствовало статистически значимое отличие между значениями, полученными посредством НК и данного расчетного уравнения ( $p=0,991$ ) (табл. 4).

Самым простым уравнением, прогнозирующим REE, было умножение фактической массы больного на 25. В нашем исследовании среднесуточная потребность в энергии больного с РВП составила 25,78 ккал/кг/сут. Согласно современным данным для полноценного восполнения энергетических потребностей больным при проведении интенсивной терапии требуется 25 ккал/кг/сут [10, 13]. Процент точных измерений при использовании этой формулы у пациентов 2-й и 3-й групп был чуть выше 60% (табл. 5). У трети пациентов недооценка была незначительной, во 2-й группе — в среднем 37 ккал/сут, а в 3-й — 124 ккал/сут. Учитывая, что в нашем исследовании индекс массы тела варьировал от 19 кг/м<sup>2</sup> до 32,3 кг/м<sup>2</sup> решили проверить, насколько объективно можно оценить REE, используя не  $MT_{ф}$ , как в существующих рекомендациях [10], а  $MT_{ид}$  больного, умноженную на 25. Анализ показал, что только у трети пациентов 2-й группы результаты оказались точны. В двух других группах отметили недооценку суточной энергетической потребности в 100% случаев. В 1-й группе дефицит составил в среднем 416 ккал/сут или 20,6% от должной энергетической потребности, а во 3-й (у больных на ИВЛ) — 523 ккал/сут и 25,9%, соответственно.

Рассчитанная REE формулой С. Ireton-Jones (1992) показала точность чуть больше 50% (табл. 5). Процент недооцененных или переоцененных результатов был примерно одинаковым, чуть более 20% в каждой группе. Наши результаты согласуются с опубликованными исследованиями [14], в которых степень точности уравнения была 60%.

Точность расчета REE модифицированной формулой Penn State (2003) у пациентов на ИВЛ составила 42,4%, что не противоречит результатам существующих исследований, точность

tients of arm 2. In the other two arms, underestimation of the daily energy expenditure was noted in 100% of cases. In arm 1, the deficit averaged to 416 kcal/day or 20.6% of the proper energy requirement and in arm 3 (patients on MLV) — 523 kcal/day and 25.9%, respectively.

REE calculated following the C. Ireton-Jones formula (1992) demonstrated accuracy just above 50% (table 5). The percent of underestimated and overestimated results was approximately the same — just over 20% in each arm. Our findings are consistent with published studies [14], where the equation accuracy was equal to 60%.

The efficiency of REE calculation by the Penn State formula (2003) in the patients on MLV was equal to 42.4%, which is consistent with existent studies reporting accuracy of 43% [16]. In our study, in 48% of patients REE calculated using this formula was underestimated by 177 kcal/day approximately. The drawback of the formula is that the minute ventilation might vary during 24 hours, especially in patients on assisted MLV modes.

## Conclusion

The most accurate equation predicting REE in GSP patients was multiplying  $BW_{ac}$  by 25. Its accuracy was 63.4% in spontaneously breathing patients and 60.6% in patients on MLV. The C. Ireton-Jones formula (1992) was slightly less accurate: 51.8% and 53.2%, correspondingly. The modified Penn State formula (2003) was accurate in 42.4% of patients on MLV only. The most ill-defined equation was multiplying  $BW_{id}$  by 25.

The difficulty of determining REE using predictive equations is related not only to heterogeneity of causes leading to GSP, but multiple clinical symptoms accompanying it, too. The influence of a surgical trauma and/or postoperative complications on patient's energy expenditure is unpredictable. In view of the aforesaid, IC remains the sole accurate method of determining REE in GSP patients and in our study it amounted to  $25.78 \pm 1.37$  kcal/kg/day. Further search for new equations to raise the accuracy of REE prediction in critically ill patients, including during GSP, is warranted.

в которых составила 43% [16]. В нашем исследовании при ее использовании у 48% больных REE была недооценена примерно на 177 ккал/сут. Недостаток формулы в том, что в течение суток минутная вентиляция легких может значительно варьировать, особенно у пациентов на вспомогательных режимах ИВЛ.

## Заклучение

Наиболее точным уравнением, прогнозирующим REE у пациентов с РВП, было умножение  $MT_{ф}$  на 25. Точность его составила 63,4% у

пациентов на самостоятельном дыхании и 60,6% — на ИВЛ. Чуть меньшей точностью обладала формула С. Ireton-Jones (1992) — 51,8 и 53,2% соответственно. Модифицированная формула Penn State (2003) была точна только у 42,4% больных на ИВЛ. Самым неточным уравнением оказалось умножение  $MT_{ид}$  на 25.

Трудность определения REE прогностическими уравнениями связана не только с гетерогенностью причин, приведших к развитию РВП, но и с множеством клинических синдро-

мов, сопровождающих его. Не предсказуемо влияние хирургической травмы и/или осложнений послеоперационного периода на потребность пациентов в энергии. Учитывая вышеизложенное, НК остается единственным точным способом определения REE у больных с РВП и в нашем исследовании, она составила  $25,78 \pm 1,37$  ккал/кг/сут. Необходим дальнейший поиск новых уравнений для повышения точности прогноза REE для пациентов в критическом состоянии, в том числе при РВП.

## Литература

1. Kinney J.M., Jeejeebhoy K.N., Hill G.L., Owen O.E. Nutrition and metabolism in patient care. Philadelphia (PA): Saunders; 1988 DOI: 10.1016/0168-8278 (89)90176-1
2. Weijs P.J., Looijaard W.G., Beishuizen A., Girbes A.R., Straaten H.M. Early high protein intake is associated with low mortality and energy overfeeding with high mortality in non-septic mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care*. 2014; 18: 701. DOI: 10.1186/s13054-014-0701-z
3. Klein C.J., Stanek G.S., Wiles C.E. 3<sup>rd</sup>. Overfeeding macronutrients to critically ill adults: metabolic complications. *J Am Diet Assoc*. 1998; 98: 795–806. PMID: 9664922 DOI: 10.1016/S0002-8223 (98)00179-5
4. Preiser J.C., van Zanten A.R., Berger M.M., Biolo G., Casaer M.P., Doig G.S., Griffiths R.D., Heyland D.K., Hiesmayr M., Iapichino G., Laviano A., Pichard C., Singer P., Van den Berghe G., Wernerman J., Wischmeyer P., Vincent J.L. Metabolic and nutritional support of critically ill patients: consensus and controversies. *Crit Care*. 2015; 19 (1): 35. DOI: 10.1186/s13054-015-0737-8. PMID: 25886997. PMCID: PMC4310041.
5. Weijs P.J., Wischmeyer P.E. Optimizing energy and protein balance in the ICU. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2013; 16: 194–201. PMID: 23334173. DOI: 10.1097/MCO.0b013e32835bd7fe
6. Ефремов С.М., Талабан В.О., Артемьева В.В., Дерягин М.Н., Ломиворотов В.В. Теория и практика определения энергетических потребностей пациентов отделений реанимаций и интенсивной терапии. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2016; 4 (13): 61–67. DOI: 10.21292/2078-5658-2016-13-4-61-67
7. Compher C., Nicolo M., Chittam J., Kang Y., Day A.G., Heyland D.K. Clinical Outcomes in Critically Ill Patients Associated With the Use of Complex vs Weight-Only Predictive Energy Equations. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2014. 39 (7): 864–869. DOI: 10.1177/0148607114533127
8. Kreymann G., Adolph M., Mueller M.J. Working group for developing the guidelines for parenteral nutrition of The German Association for Nutritional Medicine. Energy expenditure and energy intake — Guidelines on Parenteral Nutrition, Chapter 3. *Ger Med Sci*. 2009; 7: Doc25. Published 2009 Nov 18. DOI: 10.3205/000084
9. Harris J.A., Benedict F.A. biometric study of basal metabolism in man. Washington DC, Washington DC, 1919. — 284 p.
10. Taylor B.E., McClave S.A., Martindale R.G., Warren M.M., Johnson D.R., Braunschweig C., McCarthy M.S., Davanos E., Rice T.W., Cresci G.A., Gervasio J.M., Sacks G.S., Roberts P.R., Compher C. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.) *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2016; 40 (2): 159–211. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001525
11. Ireton-Jones C.S., Turner W.W., Jr, Liepa G.U., Baxter C.R. Equations for the estimation of energy expenditures in patients with burns with special reference to ventilatory status. *J Burn Care Rehabil*. 1992; 13: 330–333. PMID: 1618877
12. Frankenfield D., Smith J.S., Cooney R.N. Validation of 2 approaches to predicting resting metabolic rate in critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2004; 28: 259–264. PMID: 15291408. DOI: 10.1177/0148607104028004259
13. Yatabe T., Egi M., Sakaguchi M., Ito T., Inagaki N., Kato H., Kamino-hara J., Konishi A., Takahashi M., Tatsumi H., Tobe M., Nakashima I., Nakamoto N., Nishimura T., Nitta M., Nishimura M. Influence of nutritional management and rehabilitation on physical outcome in Japanese intensive care unit patients: a multicenter observational study. *Ann Nutr Metab*. 2019; 74 (1): 35–43. DOI: 10.1159/000495213
14. Costa N.A., Marinho A.D., Cancado L.R. Nutritional requirements of the critically ill patient. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2012; 24: 270–277.
15. de Goes C.R., Berbel-Bufarah M.N., Sanches A.C., Xavier P.S., Balbi A.L., Ponce D. Poor agreement between predictive equations of energy expenditure and measured energy expenditure in critically ill acute kidney injury patients. *Ann Nutr Metab*. 2016; 68 (4): 276–284. PMID: 27288392. DOI: 10.1159/000446708
16. Boullata J., Williams J., Cottrell E., Hudson L., Compher C. Accurate determination of energy needs in hospitalized patients. *J Am Diet Assoc*. 2007; 107: 393–401. PMID: 17324656. DOI: 10.1016/j.jada.2006.12.014

Поступила 31.01.20

## References

1. Kinney J.M., Jeejeebhoy K.N., Hill G.L., Owen O.E. Nutrition and metabolism in patient care. Philadelphia (PA): Saunders; 1988. DOI: 10.1016/0168-8278 (89)90176-1
2. Weijs P.J., Looijaard W.G., Beishuizen A., Girbes A.R., Straaten H.M. Early high protein intake is associated with low mortality and energy overfeeding with high mortality in non-septic mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care*. 2014; 18: 701. DOI: 10.1186/s13054-014-0701-z
3. Klein C.J., Stanek G.S., Wiles C.E. 3<sup>rd</sup>. Overfeeding macronutrients to critically ill adults: metabolic complications. *J Am Diet Assoc*. 1998; 98: 795–806. PMID: 9664922. DOI: 10.1016/S0002-8223 (98)00179-5
4. Preiser J.C., van Zanten A.R., Berger M.M., Biolo G., Casaer M.P., Doig G.S., Griffiths R.D., Heyland D.K., Hiesmayr M., Iapichino G., Laviano A., Pichard C., Singer P., Van den Berghe G., Wernerman J., Wischmeyer P., Vincent J.L. Metabolic and nutritional support of critically ill patients: consensus and controversies. *Crit Care*. 2015; 19 (1): 35. DOI: 10.1186/s13054-015-0737-8. PMID: 25886997. PMCID: PMC4310041.
5. Weijs P.J., Wischmeyer P.E. Optimizing energy and protein balance in the ICU. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2013; 16: 194–201. PMID: 23334173. DOI: 10.1097/MCO.0b013e32835bd7fe
6. Efremov S.M., Talaban V.O., Artemieva V.V., Deryagin M.N., Lomivorotov V.V. Theory and practice of resting energy expenditures evaluation of the patients in the intensive care departments. *Messenger of anesthesiology and resuscitation=Vestnik anesteziologii i reanimatologii*. 2016; 13 (4): 61–67. (In Russ.) DOI: 10.21292/2078-5658-2016-13-4-61-67
7. Compher C., Nicolo M., Chittam J., Kang Y., Day A. G., Heyland D. K. Clinical Outcomes in Critically Ill Patients Associated With the Use of Complex vs Weight-Only Predictive Energy Equations. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2014. 39 (7): 864–869. DOI: 10.1177/0148607114533127
8. Kreymann G., Adolph M., Mueller M.J. Working group for developing the guidelines for parenteral nutrition of The German Association for Nutritional Medicine. Energy expenditure and energy intake — Guidelines on Parenteral Nutrition, Chapter 3. *Ger Med Sci*. 2009; 7: Doc25. Published 2009 Nov 18. DOI: 10.3205/000084
9. Harris J.A., Benedict F.A. biometric study of basal metabolism in man. Washington DC, Washington DC, 1919. — 284 p.
10. Taylor B.E., McClave S.A., Martindale R.G., Warren M.M., Johnson D.R., Braunschweig C., McCarthy M.S., Davanos E., Rice T.W., Cresci G.A., Gervasio J.M., Sacks G.S., Roberts P.R., Compher C. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.) *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2016; 40 (2): 159–211. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001525
11. Ireton-Jones C.S., Turner W.W., Jr, Liepa G.U., Baxter C.R. Equations for the estimation of energy expenditures in patients with burns with special reference to ventilatory status. *J Burn Care Rehabil*. 1992; 13: 330–333. PMID: 1618877
12. Frankenfield D., Smith J.S., Cooney R.N. Validation of 2 approaches to predicting resting metabolic rate in critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2004; 28: 259–264. PMID: 15291408. DOI: 10.1177/0148607104028004259
13. Yatabe T., Egi M., Sakaguchi M., Ito T., Inagaki N., Kato H., Kamino-hara J., Konishi A., Takahashi M., Tatsumi H., Tobe M., Nakashima I., Nakamoto N., Nishimura T., Nitta M., Nishimura M. Influence of nutritional management and rehabilitation on physical outcome in Japanese intensive care unit patients: a multicenter observational study. *Ann Nutr Metab*. 2019; 74 (1): 35–43. DOI: 10.1159/000495213
14. Costa N.A., Marinho A.D., Cancado L.R. Nutritional requirements of the critically ill patient. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2012; 24: 270–277.
15. de Goes C.R., Berbel-Bufarah M.N., Sanches A.C., Xavier P.S., Balbi A.L., Ponce D. Poor agreement between predictive equations of energy expenditure and measured energy expenditure in critically ill acute kidney injury patients. *Ann Nutr Metab*. 2016; 68 (4): 276–284. PMID: 27288392. DOI: 10.1159/000446708
16. Boullata J., Williams J., Cottrell E., Hudson L., Compher C. Accurate determination of energy needs in hospitalized patients. *J Am Diet Assoc*. 2007; 107: 393–401. PMID: 17324656. DOI: 10.1016/j.jada.2006.12.014

Received 31.01.20